# ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1904 г. ТОМЪ 5 No. 4

Оптическіе обманы

В. Л. Розенберга

§ 1. Актъ зрѣнія заключается въ истолкованіи зрительныхъ знаковъ, доставляемыхъ внѣшнимъ міромъ. Какъ ребенку нужно время отъ 1 до 2 лѣтъ, чтобы научиться ходить, такъ нужно время отъ 6 до 7 лѣтъ, чтобы вполнѣ развить навыки, необходимые при актахъ зрѣнія. Истолкованіе зрительныхъ знаковъ основано на сужденіяхъ, которыя, вслѣдствіе большого числа повтореній, стали безсознательными, автоматическими. Нужно замѣтить, что мы правильно истолковываемъ только тѣ зрительные знаки, къ которымъ мы привыкли и которые получаются при обыкновенныхъ условіяхъ вседневной жизни; когда зрительные знаки получаются при необычныхъ условіяхъ, сознаніе, прилагая къ нимъ навыки, пріобрѣтенные долговременнымъ упражненіемъ, впадаетъ въ ошибки, называемыя вообще *оптическими обманами*. Навыки, пріобрѣтенные при хожденіи, недостаточны, чтобы ходить на ходуляхъ или ѣздить на велосипедѣ; для этого требуются новыя упражненія; подобно этому и глазъ требуетъ новыхъ упражненій, когда поставленъ въ необычныя условія.

Двумя глазами мы научились опредѣлять разстоянія въ извѣстныхъ предѣлахъ (до 450 m), и судимъ объ нихъ по мышечному чувству мускуловъ, поворачивающихъ глаза: чѣмъ ближе предметъ, тѣмъ больше мы поворачиваемъ глаза, чтобы направить на него оси глазъ и тѣмъ сильнѣе напряженіе мускуловъ: оно

даетъ мѣру разстоянія. За извѣстнымъ предѣломъ, когда оси глазъ устанавливаются почти параллельно, мы не умѣемъ опредѣлять разстояній мускульнымъ чувствомъ и руководствуемся не физіологическими, а психическими данными—бо́льшимъ или меньшимъ освѣщеніемъ предмета, большею или меньшею рѣзкостью контуровъ и т. п.

§ 2. Одинъ глазъ не обладаетъ указанными выше способами и потому очень сильно ошибается въ опредѣленіи разстояній.

I Опытъ. Узкую трубку (свернутую изъ листа бумаги) приставляютъ плотно къ одному глазу и закрываютъ другой. Передъ концомъ трубки, установленной горизонтально, помѣщаютъ въ вертикальномъ направленіи листъ бумаги, который постепенно удаляютъ. Глазъ не замѣчаетъ этого перемѣщенія.

II Опытъ. Въ узкую длинную трубку смотрятъ также, какъ и въ предыдущемъ опытѣ, однимъ глазомъ на двѣ свѣчи, изъ которыхъ одна находится на разстояніи 2 саж., другая на разстояніи 3 или 4 саж. Чрезъ минуту или двѣ, обѣ свѣчи покажутся одинаково удаленными.

III Опытъ. Два стержня, одинъ въ горизонтальномъ положеніи, другой въ вертикальномъ, удалены другъ отъ друга на разстояніи аршина. Если помѣститься отъ нихъ на разстояніи 5—6 саж. и смотрѣть на нихъ однимъ глазомъ, закрывъ другой, то увидимъ крестъ, лежащій въ одной плоскости.

IV Опытъ. Чрезъ узкую длинную трубку смотрѣть однимъ глазомъ на отдаленную лампу, взять въ руку длинный стержень (около 1 аршина) и вытянуть руку со стержнемъ такъ, чтобы они были горизонтальны. Намъ покажется, что мы почти касаемся лампы.

§ 3. Отдаленные предметы вслѣдствіе неполной прозрачности воздуха представляются темными съ размытыми очертаніями; пріобрѣтается навыкъ темные предметы считать болѣе отдаленными.

V Опытъ. Въ *опытѣ III* передній стержень (горизонтальный) двигаютъ быстро вверхъ и внизъ: его очертанія становятся неотчетливыми, и кажется, что онъ находится за заднимъ стержнемъ.

§ 4. Опредѣленіе величины предмета неразрывно связано съ опредѣленіемъ разстоянія. Тотъ же предметъ на различныхъ удаленіяхъ даетъ различныя по величинѣ изображенія на рети-

нахъ; тѣмъ не менѣе, оцѣнивая правильно его удаленіе, мы вѣрно опредѣляемъ его величину. Въ рядѣ статей (Научное Обозрѣніе 1896 г. № 48 и 52, Педаг. жур. в. уч. зав. 1897 № 5) я высказалъ относительно связи величины предмета и его разстоянія слѣдующій законъ:

Видимая величина предмета измѣряется произведеніемъ угла его зрѣнія на кажущееся разстояніе отъ глаза.

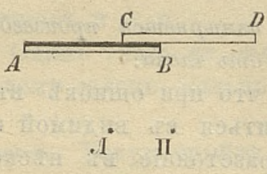
Изъ этого закона слѣдуетъ, что при ошибкѣ въ разстояніи мы должны обязательно ошибиться въ видимой нами величинѣ предмета; если оцѣнимъ разстояніе въ нѣсколько разъ больше, то востолько же разъ возростетъ видимая величина предмета, и наоборотъ.

VI Опытъ. Складываютъ вдвое металлическую сѣтку (миллиметровую) такъ, чтобы ея части были параллельны, и приставляютъ ее непосредственно къ глазамъ; въ небольшомъ разстояніи отъ сѣтки держатъ большой кусокъ картона; фиксируя послѣдній, мы увидимъ, что сѣтка лежитъ на картонѣ и отверстія ея больше дѣйствительныхъ. Удаляя постепенно картонный экранъ и слѣдя за нимъ глазами, замѣтимъ, что отверстія сѣтки, которая намъ кажется лежащею на экранѣ, постепенно увеличиваются и, при значительномъ удаленіи послѣдняго, становятся весьма большими. Если при неподвижности картона, удалить нѣсколько сѣтку отъ глазъ, то отверстія ея, проектируясь на тотъ же экранъ, покажутся меньше, потому что уменьшился уголъ зрѣнія.

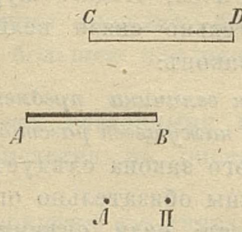
VII Опытъ. Во II опытѣ свѣча болѣе удаленная, хотя и кажется въ одинаковомъ разстояніи съ другою, но мы оцѣниваемъ ее тоньше, потому что уголъ зрѣнія ея меньше; это согласно съ указаннымъ выше закономъ: произведеніе меньшаго угла зрѣнія (по большему удаленію) на то же кажущееся разстояніе будетъ меньше для этой свѣчи, чѣмъ для другой.

VIII Опытъ. Берутъ зеркальце безъ оправы (длина около 3 вер., а ширина около $1^1/_2$ вершка) и такой же величины кусокъ картона; въ одной рукѣ держатъ зеркальце, въ другой картонъ. Зеркальце и картонъ приставляютъ какъ можно ближе къ глазамъ такъ, чтобы вертикальная линія ихъ прикосновенія проходила чрезъ переносицу и чтобы одинъ глазъ видѣлъ только свое изображеніе, а другой только картонъ. На чертежѣ 1 *Л* означаетъ лѣвый глазъ, *П*—правый глазъ, *AB*—зеркальце,

CD—картонъ (бѣлый). Если, отодвигая постепенно картонъ и задвигая его немного за зеркальце (фиг. 2), фиксировать кар-



фиг. 1.



фиг. 2.

тонъ, то увидимъ мнимое изображенiе глаза на картонѣ; если послѣднiй постепенно удалять, то мнимое изображенiе остается на картонѣ и постепенно увеличивается; при значительномъ удаленiи картона это изображенiе становится очень большимъ. Увеличенiе объясняется тѣмъ, что произведенiе угла зрѣнiя, остающагося постояннымъ, на кажущееся увеличенное разстоянiе возростаетъ.

IX Опытъ. На одномъ изъ двухъ столовъ, находящихся въ разстоянiи 3—4 аршина одинъ отъ другого, ставятъ зажженную свѣчу; а на другомъ темный вертикальный предметъ, незажженную лампу. Въ небольшомъ разстоянiи отъ лампы (около 8 верш.) держатъ стеклянную пластинку ($2^1/_2$ верш. длины и $1^1/_2$ верш. ширины) такъ, чтобы было видимо мнимое (зеркальное) изображенiе пламени; повертывая пластинку справа налѣво и наклоняя ее то въ одну, то въ другую сторону, можно достигнуть того, что мнимое изображенiе пламени свѣчи сначала попадаетъ на столъ, а потомъ на ножку лампы и покажется лежащимъ на ней, при чемъ оно будетъ очень мало. (Пламя будетъ видно вдвойнѣ: одно изображенiе отъ передней, а другое отъ задней поверхности стеклянной пластинки). Если протянуть руку и поставить ладонь передъ самою ножкою лампы, можно перевести изображенiе пламени на ладонь. Станемъ медленно приближать руку къ стеклу; изображенiе пламени останется на ладони и его можно придвинуть къ задней поверхности стекла; когда мнимое изображенiе приближается, оно постепенно уменьшается и у стекла становится крошечнымъ. Если снова движенiемъ стеклянной пластинки перенести на поверхность стола мнимое изображенiе пламени и вращать пластинку такъ, чтобы изображенiе

двигалось по поверхности стола и перешло на смежную со столомъ стѣну, и затѣмъ постепеннымъ вращеніемъ стеклянной пластинки двигать изображеніе вверхъ по стѣнѣ, то оно наконецъ дойдетъ до потолка, и при этомъ перемѣщеніи мнимое изображеніе постепенно увеличивается и на потолкѣ будетъ значительной величины. Этотъ опытъ прекрасно демонстрируетъ законъ: *видимая величина предмета измѣряется произведеніемъ угла зрѣнія на кажущееся разстояніе предмета.* При томъ же углѣ зрѣнія разстоянія мнимаго изображенія оцѣниваемъ различно и кажущаяся величина соотвѣтственно измѣняется.

Описанное выше странное явленіе, при которомъ мнимое изображеніе можетъ находиться въ произвольномъ разстояніи за зеркаломъ и не имѣть опредѣленной величины, объясняется тѣмъ, что по малости пластинки, отраженные лучи попадаютъ только въ одинъ глазъ, а однимъ глазомъ мы не умѣемъ опредѣлять разстоянія и мнимому изображенію даемъ размѣры соотвѣтственно кажущемуся разстоянію.

§ 5. Дѣти въ возрастѣ приблизительно до 6 лѣтъ не умѣютъ еще опредѣлять разстояній и судятъ *о величинѣ предметовъ только по углу зрѣнія*: тотъ же предметъ на большемъ разстояніи кажется имъ меньше. И взрослые судятъ о величинѣ предметовъ только по углу зрѣнія, когда не умѣютъ опредѣлять разстояній.

I Наблюденіе. Когда удаленіе предметовъ отъ глазъ больше 450 m, то мы уже не умѣемъ опредѣлять разстояній и всѣ предметы кажутся одинаково отдаленными; при большемъ дѣйствительномъ удаленіи того же предмета, уголъ его зрѣнія становится меньше и предметъ намъ кажется меньше.

Въ этомъ случаѣ величина предмета опредѣляется только угломъ зрѣнія, что вытекаетъ, какъ слѣдствіе изъ указаннаго выше закона: при кажущемся постоянномъ разстояніи и постепенно уменьшающемся углѣ зрѣнія (при удаленіи предмета), произведеніе угла зрѣнія на разстояніе должно уменьшаться (это подтверждаетъ и опытъ VII).

II Наблюденіе. Если смотрѣть внизъ съ высокой башни, то всѣ предметы кажутся очень маленькими, потому что по вертикальному направленію мы не имѣемъ навыка опредѣлять разстояній и потому въ этомъ случаѣ судимъ о величинѣ предметовъ *только по углу зрѣнія*, который малъ.

X Опытъ. Закрываютъ одинъ глазъ, а другимъ чрезъ узкую горизонтальную трубку (свернутый листъ бумаги), плотно приставленную къ глазу, смотрятъ на монету, которую медленно отодвигаютъ отъ другаго конца трубки: *монета постепенно уменьшается.*

§ 6. Вслѣдствіе продолжительной психической работы мы научились причину свѣтового раздраженія сѣтчатой оболочки относить въ наружное пространство; у взрослыхъ людей этотъ актъ автоматиченъ. *При зрѣніи мы проектируемъ въ наружное пространство состояніе раздраженія сѣтчатой оболочки. Направленіе проектированія происходитъ по линіямъ, соединяющимъ раздраженную точку ретины съ оптическимъ центромъ глаза* (т. е. сверху внизъ, снизу—вверхъ, справа—налѣво, а слѣва—направо); эти линіи имѣютъ неопредѣленную длину и потому поверхность проекціи вообще не имѣетъ опредѣленнаго положенія.

Опытъ Пуркинье. Сосуды сѣтчатой оболочки даютъ тѣни на ней; мы привыкли не обращать на нихъ вниманія; но если тѣни эти падаютъ на необычныя части сѣтчатки, то полученное въ этомъ мѣстѣ раздраженіе мы ощущаемъ и проектируемъ въ наружное пространство. Опытъ производится слѣдующимъ образомъ: закрываютъ одинъ глазъ, а другимъ (въ темной комнатѣ) смотрятъ неопредѣленно вдаль; передъ вискомъ этого глаза, въ близкомъ разстояніи отъ него, двигаютъ зажженную свѣчу вверхъ и внизъ, справа налѣво и обратно; тѣни сосудовъ праваго глаза сдвигаются съ обычнаго мѣста ретины влѣво, а тѣни сосудовъ лѣваго—вправо, и намъ кажется, что мы видимъ въ пространствѣ около виска огромную развѣтвляющуюся сѣть сосудовъ.

§ 7. *Каждый глазъ проектируетъ въ наружное пространство изображеніе предмета, рисующееся на его ретинѣ, и тамъ, гдѣ эти проекціи совпадаютъ, мы видимъ предметъ; если же проекціи не совпадаютъ, мы видимъ два предмета вмѣсто одного.* Когда мы видимъ предметъ нормально, то его положеніе въ пространствѣ опредѣляется пересѣченіемъ главныхъ осей (фиксируемая точка); если мы не можемъ свести главныя оси такъ, чтобы онѣ пересѣкались въ одной точкѣ, то проекціи изображеній предмета на ретинахъ не могутъ совмѣститься, и тогда мы обязательно видимъ предметъ вдвойнѣ.

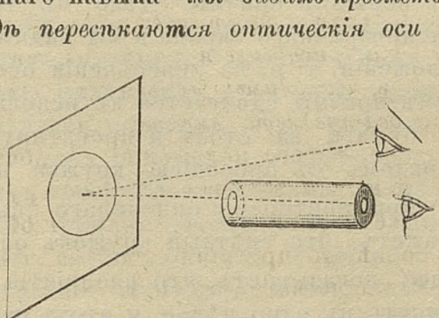
XI Опытъ. Въ серединѣ крышки коробки отъ конфектъ дѣлаютъ два четырехугольныхъ отверстія, равныхъ поверхности глазъ; разстояніе между отверстіями должно равняться шири-

нѣ переносицы; на днѣ коробки, на пересѣченіи діагоналей, дѣлаютъ квадратное отверстіе, стороны котораго около 8 mm. Приставляютъ отверстія въ крышкѣ близко къ глазамъ; тогда на днѣ коробки увидимъ не одно, а два отверстія; это потому, что—вслѣдствіе близости отверстія на днѣ—мы не можемъ повернуть глаза такъ сильно, чтобы оси ихъ пересѣклись на этомъ отверстіи. Закрывая лѣвый глазъ, мы видимъ правымъ одно отверстіе по оптической его оси, проходящей чрезъ центръ отверстія, т. е. влѣво; закрывая правый, замѣчаемъ, что отверстіе значительно перемѣщается вправо (параллаксъ).

XII Опытъ. На переносицу ставятъ длинный стержень (около 1 аршина) въ вертикальномъ положеніи и фиксируютъ самую отдаленную точку; тогда покажется, что мы видимъ два стержня, сходящихся въ фиксируемой точкѣ. Это происходитъ оттого, что изображенія крайней точки стержня на обѣихъ ретинахъ проектируются по главнымъ осямъ въ одну точку (фиксируемую), а изображеніе остальныхъ точекъ на сѣтчатыхъ оболочкахъ проектируются въ разныя точки внѣшняго пространства.

Наблюденіе. Въ томъ мѣстѣ пространства, гдѣ мы видимъ предметъ, совмѣщаются двѣ проекціи. Это можно доказать слѣдующимъ наблюденіемъ: закрываютъ одинъ глазъ, а другимъ смотрятъ напр. на свѣчу; затѣмъ медленно открываютъ другой глазъ, тогда замѣчаютъ, что на прежде видимую свѣчу надвигается вторая.

§ 8. Если въ воспріятіяхъ участвуетъ одинъ глазъ, то—въ силу пріобрѣтеннаго навыка—*мы видимъ предметъ въ томъ мѣстѣ пространства, гдѣ пересѣкаются оптическія оси обоихъ глазъ.*



фиг. 3.

XIII Опытъ. Въ аптечной коробкѣ отъ ликоподія отрываютъ ситечко, а въ центрѣ противоположнаго дна (фиг. 3) прорѣза-

ютъ небольшое квадратное отверстіе (5—6 mm въ сторонѣ). Если закрыть одинъ глазъ, а къ другому приставить, какъ можно ближе, четыреугольное маленькое отверстіе, то мы увидимъ круглое отверстіе на мѣстѣ, гдѣ было ситечко.

Если открыть другой глазъ и поставить передъ отверстіемъ коробки (см. чер. 3) листъ бумаги и фиксировать послѣдній, то вмѣсто отверстія на листѣ бумаги мы увидимъ свѣтлый кружокъ, постепенно увеличивающійся по мѣрѣ удаленія листа. По чертежу видно, что лѣвый глазъ смотритъ въ коробку и видитъ круглое отверстіе ея, а правый этого отверстія не можетъ видѣть; тѣмъ не менѣе *свѣтлый кружокъ* представляется на пересѣченіи осей обоихъ глазъ.

Легко доказать, что въ этомъ опытѣ участвуетъ одинъ только лѣвый глазъ; дѣйствительно, помѣстивъ передъ правымъ открытымъ глазомъ цвѣтное стекло или даже непрозрачный предметъ, мы увидимъ на томъ же мѣстѣ бумаги бѣлый кружокъ прежнихъ размѣровъ; если же помѣстимъ между лѣвымъ глазомъ и коробкою цвѣтное стекло, то кругъ на бумагѣ станетъ цвѣтнымъ.

Съ удаленіемъ листа бумаги, при фиксированіи послѣдняго, кружокъ на немъ получается большой величины; этотъ опытъ служитъ также подтвержденіемъ закона, высказаннаго нами въ § 4. Если въ описанномъ выше опытѣ заслонить правый глазъ призмою съ малымъ преломляющимъ угломъ (преломляющее ребро призмы вертикально и обращено къ носу), то покажется, будто свѣтлый кружокъ на бумагѣ перемѣстился не къ основанію, а къ вершинѣ призмы. Дѣло въ томъ, что призма играетъ роль непрозрачнаго экрана и мы видимъ центръ кружка въ томъ же положеніи, т. е. на пересѣченіи осей глазъ, но самъ листъ дѣйствіемъ призмы сдвигается къ основанію призмы. Положимъ листъ бумаги на столъ и проектируемъ кружокъ на этотъ листъ; рядомъ съ проекціею кружка положимъ какую-нибудь монету; при повтореніи описаннаго опыта уклоненіе монеты ясно укажетъ, что свѣтлый кружокъ остается на мѣстѣ.

Предыдущее показываетъ, что воспріятія обоихъ глазъ мы привыкли соединять въ одно цѣлое, и этотъ навыкъ сталъ автоматическимъ.

§ 9. Если помѣстить два предмета такъ, чтобы правый глазъ видѣлъ только свой предметъ, а лѣвый также только свой,

то мы проектируемъ оба изображенія наружу въ мѣсто пересѣченія главныхъ осей глаза, и тамъ видимъ оба предмета, наложенныхъ другъ на друга.

XIV Опытъ. Приставимъ къ одному и къ другому глазу двѣ трубки (трубки отъ ареометровъ—одна длиною около 7 вершковъ, другая около 5) такъ, чтобы онѣ были параллельны и лежали въ одной горизонтальной плоскости и на концахъ этихъ трубъ, по направленію діаметровъ ихъ сѣченій вколемъ двѣ булавки; если станемъ концы трубокъ сближать, то покажется, что оба конечныхъ кружка сольются въ одинъ кружекъ и булавки совмѣстятся, если обѣ вертикальны, или образуютъ крестъ, если одна вертикальна, а другая горизонтальна.

§ 10. ***Оба глаза дѣйствуютъ совмѣстно, какъ одинъ глазъ, находящійся посрединѣ обоихъ; мы видимъ предметы по направленію главной оси этого воображаемаго глаза, дѣлящей пополамъ уголъ глазныхъ осей.***

Опытъ Пуркинье. Къ одному глазу плотно приставляютъ трубку, свернутую изъ листа бумаги (діаметръ трубки около дюйма) и держатъ ее въ горизонтальной плоскости такъ, чтобы она почти касалась носа; передъ другимъ глазомъ держатъ раскрытую ладонь вертикально такъ, чтобы она прикасалась трубки. Смотря обоими глазами, мы увидимъ, что трубка проходитъ чрезъ отверстіе ладони и это отверстіе лежитъ на главной оси воображаемаго глаза.

§ 11. ***Появленіе въ полѣ зрѣнія несуществующаго въ дѣйствительности предмета и его движеніе въ пространствѣ.***

XV Опытъ. Два цилиндра, оклеенныхъ глянцовитою бумагою (длина около 3/4 арш. діаметръ—3/4 вершка), приставляютъ къ срединѣ лба такъ, чтобы при вертикальномъ положеніи лица линія прикосновенія цилиндровъ проходила чрезъ верхушку носа; станемъ раздвигать цилиндры, какъ показано на чер. 4. При раздвиганіи цилиндровъ фиксируемъ общую имъ точку, лежащую близко отъ нижнихъ основаній цилиндровъ; тогда въ промежуткѣ между цилиндрами увидимъ конусъ, какъ видно на чертежѣ, основаніе котораго лежитъ наверху, а вершина внизу; при постепенномъ раздвиганіи цилиндровъ конусъ поворачивается около основанія такъ, что ось его стремится принять горизонтальное положеніе; чѣмъ точка фиксированія ниже, тѣмъ ниже опускается вершина конуса. Для удачи опыта нужно, чтобы ци-

линдры были освѣщены; днемъ лучше всего расположиться спиною къ окну, а вечеромъ спиною къ лампѣ, нѣсколько вправо или влѣво отъ нея.


Фиг. 4.

Появленіе конуса и его движеніе объясняется тѣмъ, что—вслѣдствіе близости цилиндровъ — мы каждый изъ нихъ видимъ цѣликомъ только тѣмъ глазомъ, предъ которымъ онъ стоитъ; но этотъ же глазъ видитъ только часть другого цилиндра, которая вверху шире и постепенно суживается къ точкѣ фиксированія, видимой одновременно обоими глазами; на ретинахъ эти части даютъ такія же изображенія, какія даетъ конусъ. При обычныхъ условіяхъ, при неподвижности глазъ, изображенія предметовъ на ретинахъ, находящихся въ покоѣ, остаются неподвижными, а перемѣщеніе предметовъ вызываетъ перемѣщеніе ихъ изображеній на сѣтчатыхъ оболочкахъ. Въ данномъ случаѣ глаза, фиксирующіе опредѣленную точку неподвижны, и движеніе цилиндровъ вызываетъ на ретинахъ движеніе изображеній, соотвѣтствующихъ воображаемому конусу, что мы приписываемъ, вслѣдствіе пріобрѣтеннаго навыка, движенію этого конуса.

Спб., февр. 1904 г.

Свѣтъ и электричество

В. К. Роше[1])

Электромагнитная теорія свѣта долгое время не обращала на себя вниманія, котораго заслуживала. Причину подобнаго явле-

---

[1]) Окончаніе, см. стр. 97.

нія, повидимому, надо искать прежде всего въ томъ обстоятельствѣ, что почти всѣ ученые считали еще упругую теорію вполнѣ удовлетворительною и не видѣли поэтому надобности строить представленіе о свѣтовыхъ явленіяхъ на какихъ-нибудь другихъ основаніяхъ; кромѣ того долгое время не удавалось на опытѣ подмѣтить существованіе въ изолирующей средѣ электромагнитныхъ волнъ, указанныхъ теоріею Максвелля. Только въ 1887 г. Герцу удалось наконецъ разрѣшить эту задачу. Мы не имѣемъ возможности входить здѣсь въ сколько-нибудь подробное описаніе замѣчательныхъ опытовъ Герца, а напомнимъ лишь вкратцѣ главнѣйшіе результаты его изслѣдованій. Герцу удалось не только обнаружить существованіе электромагнитныхъ волнъ въ воздухѣ, но путемъ цѣлаго ряда блестящихъ опытовъ удалось подтвердить указанную Максвеллемъ замѣчательную аналогію между этими волнами и свѣтомъ. Электромагнитныя волны Герца отражаются, преломляются, интерферируютъ и поляризуются подобно свѣтовымъ. Мало того, скорость этихъ волнъ, опредѣленная путемъ непосредственныхъ измѣреній, оказалась довольно близкою въ скорости свѣта. Работы Герца возбудили среди физиковъ необычайный интересъ, какъ къ открытымъ имъ новымъ явленіямъ, такъ и къ теоріи Максвелля, подъ вліяніемъ которой производились эти изслѣдованія и для которой они въ свою очередь могли служить блестящимъ подтвержденіемъ. Въ слѣдующій затѣмъ періодъ разработывается цѣлый рядъ всевозможныхъ способовъ для опредѣленія діэлектрическихъ коэффиціентовъ, K; появляется громадное число теоретическихъ и экспериментальныхъ работъ, посвященныхъ изслѣдованію электрическихъ колебаній.

При всемъ разнообразіи этихъ работъ въ большинствѣ изъ нихъ можно подмѣтить одну общую основную цѣль: доказать, что всѣ существенныя извѣстныя намъ свойста свѣтовыхъ лучей присущи и вновь открытымъ электромагнитнымъ волнамъ.

Кромѣ того обращаетъ на себя вниманіе постоянное стремленіе получить и изслѣдовать электрическія волны возможно меньшей длины. Волны, полученныя первоначально Герцемъ, достигали въ длину нѣсколькихъ метровъ; позже ему удалось уменьшить ихъ до 66 cm. Изъ другихъ изслѣдователей далѣе всѣхъ по этому пути пошелъ проф. Лебедевъ, который воспроизвелъ цѣлый рядъ «оптическихъ» опытовъ съ электрическими волнами, измѣрявшимися лишь долями центиметра. Это стрем-

леніе получить возможно короткія электрическія волны обусловливалось съ одной стороны бо́льшими удобствами изслѣдованія, такъ какъ длинныя волны требовали примѣненія чрезвычайно громоздкихъ аппаратовъ; съ другой стороны изслѣдователями руководило желаніе приблизиться по возможности къ тѣмъ условіямъ, которыя мы встрѣчаемъ въ явленіяхъ свѣта. Быть можетъ, у нѣкоторыхъ даже явилась заманчивая надежда довести размѣры электромагнитныхъ волнъ до длины свѣтовыхъ волнъ; этимъ путемъ вопросъ о тождествѣ тѣхъ и другихъ могъ бы быть разрѣшенъ вполнѣ, но надо замѣтить, что отъ такого рѣшенія насъ отдѣляетъ еще цѣлая пропасть.

По мѣрѣ того, какъ свѣдѣнія объ электрическихъ колебаніяхъ дѣлались все полнѣе и полнѣе, становился возможнымъ и другой путь къ рѣшенію основного разбираемаго нами вопроса. Если удастся подмѣтить какое-нибудь новое свойство электрическихъ колебаній, еще незнакомое въ оптикѣ, то является весьма существеннымъ убѣдиться въ томъ, что свойство это присуще и свѣтовымъ лучамъ, и лишь оставалось до сихъ поръ незамѣченнымъ. Тутъ уже приходится изучать свѣтъ по образцу электрическихъ колебаній. Работы по этому плану дѣйствительно появляются послѣднее время.

Изъ теоретическихъ соображеній слѣдуетъ, что періодъ колебанія наэлектризованныхъ частицъ долженъ измѣняться извѣстнымъ образомъ подъ вліяніемъ магнитной силы. Поэтому, если правильно представленіе Лоренца о механизмѣ свѣтового лучеиспусканія, о которомъ мы говорили раньше, то подъ дѣйствіемъ магнитныхъ силъ источникъ свѣта долженъ испускать лучи нѣсколько иного періода, другими словами, долженъ измѣнить нѣсколько свой цвѣтъ. Эту зависимость періода свѣтового луча отъ магнитной силы предугадывалъ еще Фарадей и старался обнаружить ее на опытѣ. Помѣстивъ между полюсами сильнаго электромагнита пламя, окрашенное хлористымъ натріемъ, онъ при помощи спектроскопа наблюдалъ, не получится-ли въ спектрѣ пламени какихъ-либо измѣненій при возбужденіи электромагнита; однако ничего подобнаго замѣтить ему не удалось. Болѣе 20-ти лѣтъ спустя, бельгійскій ученый Фьеве повторилъ опытъ Фарадея и, пользуясь болѣе сильнымъ спектроскопомъ, уловилъ едва замѣтное измѣненіе линій натрія; онъ впрочемъ не изслѣдовалъ подробно открытаго имъ явленія и не

далъ ему правильнаго толкованія. Еще чрезъ 11 лѣтъ Зееманъ, ученикъ Лоренца, опять вернулся къ этому опыту.

Пользуясь очень сильнымъ электромагнитомъ и замѣнивъ спектроскопъ диффракціонною рѣшеткою Роллонда съ громаднымъ свѣторазсѣваніемъ, Зееманъ установилъ слѣдующіе факты: если источникъ свѣта, испускающій лучи только одного опредѣленнаго періода T_0, помѣстить въ сильное магнитное поле, то онъ перестаетъ быть строго монохроматическимъ, т. е. начинаетъ испускать лучи съ періодами, нѣсколько разнящимися между собою; въ направленіи силовыхъ линій получаются лучи двухъ сортовъ съ періодами T_1 ($> T_0$) и T_2($< T_0$); въ направленіи, перпендикулярномъ силовымъ линіямъ, получаются лучи трехъ сортовъ съ періодами T_0, T_1 и T_2. Кромѣ того, лучи, идущіе вдоль по силовымъ линіямъ, оказываются поляризованными по кругу, а лучи, перпендикулярные къ силовымъ линіямъ,— плоско-поляризованными. Явленіе, открытое Зееманомъ, было со всѣми подробностями предсказано теоріею Лоренца и служитъ для нея блистительнымъ подтвержденіемъ.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что уже Зееманъ старался открыть и дѣйствительно нашелъ у свѣтовыхъ лучей новыя свойства, которыя, согласно выводамъ теоріи, должны быть присущи электрическимъ колебаніямъ.

Въ самое послѣднее время появились работы, гдѣ указанное выше направленіе сказывается еще опредѣленнѣе. Мы подразумѣваемъ здѣсь работы проф. Вуда и проф. кіевскаго университета Косоногова, касающіяся такъ называемаго оптическаго резонанса. Оба названныхъ изслѣдователя занялись одновременно и независимо другъ отъ друга разработкою одного и того же вопроса съ одной и той же точки зрѣнія. За недостаткомъ времени мы не имѣемъ возможности дать здѣсь описаніе самыхъ работъ, а укажемъ лишь въ главнѣйшихъ чертахъ основную идею и планъ этихъ изслѣдованій.

Извѣстно, что электромагнитныя волны могутъ отражаться отъ металлическихъ зеркалъ; при томъ отъ сплошного зеркала отражаются одинаково сильно волны самыхъ разнообразныхъ періодовъ, подобно тому, какъ отражаются лучи свѣта отъ полированной металлической или стеклянной поверхности. Но если зеркало не сплошное, а состоитъ изъ рядовъ металлическихъ полосокъ, раздѣленныхъ одинаковыми промежутками и наклеенныхъ на изолирующую поверхность, то такое зеркало хорошо

отражаетъ только волны вполнѣ опредѣленнаго періода. Указанное явленіе объясняется такъ называемымъ электрическимъ резонансомъ, о сущности котораго намъ придется сказать нѣсколько словъ.

Если какой-нибудь проводникъ находится подъ дѣйствіемъ электрическихъ силъ, то на немъ получается то или другое распредѣленіе электричества; при измѣненіи силъ получается новое распредѣленіе электричества. При нѣкоторыхъ условіяхъ это новое распредѣленіе устанавливается не сразу, а послѣ цѣлаго ряда быстрыхъ періодическихъ измѣненій въ ту и другую сторону, другими словами—послѣ ряда электрическихъ колебаній въ проводникѣ, называемыхъ его собственными колебаніями; періодъ ихъ вполнѣ опредѣляется съ одной стороны размѣрами и формою самого проводника, съ другой стороны электромагнитными свойствами окружающей его среды, а также размѣрами, формою и расположеніемъ сосѣднихъ съ нимъ проводниковъ. Если въ окружающей проводникъ средѣ происходятъ періодическія измѣненія электрическихъ силъ, то въ самомъ проводникѣ могутъ возникнуть энергичныя и устойчивыя колебанія только въ томъ случаѣ, если періодъ колебаній въ средѣ соотвѣтствуетъ періоду его собственныхъ колебаній. Это явленіе съ внѣшней стороны совершенно аналогично явленію звукового резонанса и получило потому названіе - резонанса электрическаго.

Описанное нами раньше рѣшетчатое зеркало изъ цѣлаго комплекса падающихъ на него электромагнитныхъ волнъ отражаетъ лишь волны вполнѣ опредѣленнаго періода, соотвѣтствующаго періоду собственныхъ колебаній тѣхъ полосокъ, которыя образуютъ зеркало; выражаясь языкомъ оптики, можно сказать, что такое зеркало, какъ бы обладаетъ вполнѣ опредѣленнымъ цвѣтомъ.

Теперь естественно является такая мысль: если свѣтъ дѣйствительно обусловливается электромагнитными колебаніями, то и при его отраженіи должно наблюдаться описанное выше явленіе. Случаи избирательнаго, цвѣтного отраженія для свѣта встрѣчаются на каждомъ шагу и всѣмъ хорошо извѣстны: предметы различныхъ цвѣтовъ, будучи освѣщены однимъ и тѣмъ же бѣлымъ свѣтомъ, отражаютъ каждый лишь лучи опредѣленныхъ періодовъ. Но для рѣшенія вопроса надо было получить такое цвѣтное отраженіе при тѣхъ условіяхъ, при которыхъ наблюдается избирательное отраженіе электромагнитныхъ волнъ, и за-

тѣмъ, если возможно, опредѣлить, получается-ли между длиною волны отраженныхъ свѣтовыхъ лучей и размѣрами элементовъ зеркала та же самая численная зависимость, которая должна при данныхъ условіяхъ имѣть мѣсто для волнъ электромагнитныхъ.

Такимъ образомъ, въ указанныхъ работахъ авторы ставятъ своей задачей открыть у свѣтовыхъ лучей новыя свойства, которыя раньше были подмѣчены и изучены въ области волнъ электромагнитныхъ.

Въ своемъ краткомъ бѣгломъ обзорѣ мы дошли уже до самыхъ послѣднихъ дней, намѣтивъ нѣсколько этапныхъ пунктовъ, опредѣляющихъ историческій ходъ развитія интересующаго насъ вопроса о связи между оптическими и электромагнитными явленіями. Мы видимъ, что идея объ этой связи зародилась въ геніальномъ умѣ Фарадея; ему же принадлежитъ и первая попытка разрѣшенія вопроса путемъ опыта. Максвелль, развивая ту же идею математически, доказываетъ, что законы явленій той и другой категоріи въ извѣстныхъ предѣлахъ тождественны. Лоренцъ дополняетъ теорію Максвелля въ вопросахъ о свѣторазсѣваніи и лучеиспусканіи. Герцу удается обнаружить на опытѣ существованіе электромагнитныхъ волнъ въ воздухѣ и затѣмъ онъ самъ, а за нимъ и цѣлый легіонъ другихъ изслѣдователей изучаютъ электромагнитныя колебанія и доказываютъ, что имъ присущи всѣ главнѣйшія свойства свѣтовыхъ лучей. Въ самое послѣднее время обстоятельное знакомство съ электрическими колебаніями дѣлаетъ возможнымъ и другой путь въ изслѣдованіи вопроса: въ опытѣ Зеемана, въ изслѣдованіи оптическаго резонанса мы видимъ уже изученіе свѣта по аналогіи съ электрическими колебаніями.

Теперь, мнѣ кажется, для насъ становится уже достаточно яснымъ тотъ путь, по которому подходитъ наука къ рѣшенію обсуждаемаго нами вопроса. Мы видѣли, что частью теоретически, частью экспериментально въ громадномъ числѣ случаевъ установлена тождественность законовъ тѣхъ и другихъ явленій и ни разу не обнаружено существенное разногласіе. Раньше мы говорили, что идя такимъ путемъ, мы можемъ рѣшить вопросъ о тождествѣ самихъ явленій лишь съ большей или меньшей вѣроятностью. Принимая въ разсчетъ весь имѣющійся у насъ матеріалъ, надо сказать, что въ данномъ случаѣ эта вѣроятность получается безспорно громадная, но тѣмъ не менѣе это

все же только вѣроятность. Однако кромѣ указаннаго пути къ разрѣшенію вопроса, именно сравненія законовъ явленій, мы здѣсь имѣемъ еще одно могучее средство, котораго совершенно лишены при построеніи какой-нибудь умозрительной схемы въ родѣ упругой теоріи свѣта. Тамъ только одна изъ сравниваемыхъ группъ явленій доступна непосредственному наблюденію (свѣтъ), другая (колебанія эѳира) существуетъ лишь въ нашемъ умозрѣніи; здѣсь же оба класса явленій—и свѣтъ, и герцевскія электромагнитныя колебанія мы держимъ, такъ сказать, въ рукахъ, они доступны экспериментальному изслѣдованію, и для насъ является возможнымъ помимо какихъ бы то ни было теорій и аналогій прямо путемъ опыта обнаружить между ними органическую связь. Попытки отвѣтить на вопросъ этимъ путемъ можно видѣть уже въ опытахъ Фарадея, Керра и Кундта, о которыхъ мы говорили раньше; опытъ Зеемана гораздо ближе подходитъ къ этой цѣли, оставляя уже очень мало почвы для какихъ бы то ни было сомнѣній въ томъ, что свѣтъ по природѣ есть электромагнитное явленіе. Нѣтъ ничего невѣроятнаго, что завтра же мы узнаемъ о новомъ опытѣ, который уже совершенно прямо и безспорно отвѣтитъ на вопросъ, послѣ чего громадная вѣроятность, съ какою онъ рѣшенъ до сихъ поръ, обратится въ полную достовѣрность.

Эѳиръ

А. Майкельсона [1]

1. Скорость распространеніи свѣта настолько больше тѣхъ величинъ, съ которыми мы привыкли имѣть дѣло, что ее трудно

[1] Переводъ одной изъ главъ книги „Light Waves and their Uses" by *A. A. Michelson.* Chicago, 1903.

даже представить себѣ. Пушечное ядро летитъ со скоростью 0·8 km въ секунду; въ стальной проволокѣ звукъ распространяется со скоростью 5 km въ сек. Отсюда, если только исключить скорости падающихъ тѣлъ, нѣтъ промежуточныхъ скоростей до скорости свѣта, которая равна 300000 km въ секунду. Можетъ быть мы дадимъ лучшее понятіе объ этой скорости, если скажемъ, что тѣло, обладающее ею, семь разъ обходитъ землю въ теченіе одной секунды.

И безъ математическихъ выкладокъ легко видѣть, что скорость распространенія волнъ должна зависѣть отъ плотности и упругости среды. Дѣйствительно, чѣмъ больше упругость среды, тѣмъ съ большею скоростью распространяются въ ней возмущенія; съ другой стороны въ плотной средѣ возмущеніе распространяется медленнѣе, чѣмъ въ разрѣженной. Если чрезъ E обозначимъ упругость среды и чрезъ D—плотность, то можно доказать, что волны распространяются въ ней со скоростью равною $\sqrt{E/D}$. Если бы среда, распространяющая свѣтъ, имѣла плотность стали, то упругость ея была бы въ 36.10^{20} разъ больше, чѣмъ упругость стали; если бы эта среда обладала упругостью стали, то ея плотность была бы въ 36.10^{20} разъ меньше плотности стали или въ 50000 разъ меньше плотности водорода, самаго легкаго изъ извѣстныхъ газовъ. Послѣ этого ясно, что среда, распространяющая съ такою громадною скоростью колебанія, должна обладать страшно большою упругостью и необыкновенно малою плотностью. Въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ свойства этой среды совершенно отличны отъ свойствъ извѣстныхъ намъ тѣлъ, и потому стоитъ отъ нихъ особнякомъ.

2. Къ тому же заключенію, а именно, что наша среда не похожа на обычную матерію, какъ воздухъ и сталь, приводитъ и другое разсужденіе. Представимъ себѣ, что подъ колоколъ воздушнаго насоса помѣщенъ звонящій колокольчикъ; если внутри колокола воздухъ имѣетъ такую же плотность, какъ снаружи, то звукъ безъ ослабленія достигаетъ до уха наблюдателя; но если воздухъ постепенно выкачивать изъ подъ колокола, то звукъ ослабѣваетъ все болѣе и болѣе, и наконецъ совершенно прекращается. Если бы нѣчто подобное имѣло мѣсто и по отношенію къ свѣту, то при удаленіи воздуха изъ сосуда, въ которомъ помѣщенъ источникъ свѣта, напр изъ стекляннаго резервуара калильной лампочки, яркость его должна была бы уменьшаться;

однако извѣстно, что въ дѣйствительности происходитъ обратное, что свѣтъ лампочки тѣмъ ярче, чѣмъ лучше выкачанъ изъ нея воздухъ. Поэтому совершенно невѣроятно, чтобы свѣтъ распространялся ничтожнымъ остаткомъ газа въ калильной лампочкѣ.

3. Извѣстно, что свѣтовыя колебанія поперечны, т. е. перпендикулярны къ направленію распространенія, тогда какъ звуковыя колебанія продольны, т. е. совершаются по направленію ихъ распространенія. Извѣстно также, что въ твердомъ тѣлѣ могутъ распространяться поперечныя колебанія; такъ если одинъ конецъ длиннаго твердаго стержня закрутить, то это крученіе распространяется по всему стержню отъ одного конца до другого. Но если мы возьмемъ столбъ жидкости и закрутимъ одинъ его конецъ, то такое закручиваніе не распространяется дальше, ибо жидкость не можетъ передавать поперечныхъ деформацій. Отсюда заключаемъ, что если среда, распространяющая свѣтовыя колебанія, обладаетъ свойствами обыкновенной матеріи, то она скорѣе упругое *твердое* тѣло, чѣмъ жидкое.

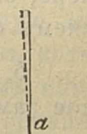
Это заключеніе считалось наиболѣе важнымъ аргументомъ противъ волнообразной теоріи свѣта. Дѣйствительно, хотя наша среда должна обладать свойствами твердаго тѣла, но въ то же время она должна быть такова, чтобы представлять лишь очень малое сопротивленіе тѣламъ, которыя движутся въ ней. Возьмемъ напр. движеніе планетъ вокругъ солнца. Сопротивленіе среды такъ мало, что въ теченіе милліоновъ лѣтъ періодъ обращенія земли вокругъ солнца не увеличился замѣтнымъ образомъ и продолжительность года осталась безъ измѣненія. Даже болѣе легкія и слабыя кометы періодически возвращаются въ одно и то же мѣсто; моменты такихъ періодическихъ возвращеній тщательно отмѣчались съ самыхъ раннихъ историческихъ временъ, и не удалось открыть замѣтнаго ихъ запаздыванія. Здѣсь мы встрѣчаемся съ требованіями, которыя повидимому непримиримы, а именно, чтобы тѣло было твердымъ и въ то же время обладало свойствами совершенной жидкости, и чтобы оно не представляло замѣтнаго сопротивленія движенію тѣлъ, столь легкихъ и объемистыхъ, какъ кометы. Однако существуютъ тѣла, какъ сапожный варъ, представляющія свойства упругаго твердаго тѣла, когда они реагируютъ на быстрое движеніе, и свойства жидкости, когда испытываютъ давленіе.

Въ случаѣ сапожнаго вара оба исключающихъ другъ друга свойства развиты незначительно, но важно, что они въ немъ совмѣщаются; послѣ этого мы въ правѣ предполагать, что въ другомъ тѣлѣ, напр. въ разсматриваемой средѣ, эти свойства развиты въ усиленной степени.

Воздухъ такими свойствами не обладаетъ; и вообще нѣтъ такого тѣла, которое бы обладало ими въ такой степени, чтобы могло распространять свѣтъ. Отсюда заключаемъ, что свѣтовыя колебанія распространяются не обыкновенною матеріею, а чѣмъ-то инымъ. Какъ бы ни были сильны эти доводы, но, несомнѣнно, они не вполнѣ убѣдительны. Насколько мнѣ извѣстно, по этому предмету нѣтъ способа разсужденія, приводящаго къ рѣшительному заключенію и не дающаго поводовъ къ возраженіямъ.

4. Впрочемъ это не единственный парадоксъ, связанный съ свѣтоносною средою.

Давно уже, Брадлей нашелъ, что если въ телескопѣ наблюдать положеніе звѣзды, то она представляется смѣщенною съ своего дѣйствительнаго мѣста на небольшой уголъ, который называется угломъ аберраціи. Брадлей приписалъ это явленіе движенію земли на ея орбитѣ, и, основываясь на теоріи истеченія свѣта, далъ ему очень простое объясненіе. Мы приведемъ это объясненіе, не смотря на то, что сама теорія истеченія, какъ извѣстно, невѣрна.



Фиг. 1.

Представимъ себѣ, что дождевая капля падаетъ по вертикальному направленію и наблюдатель держитъ ружье тоже вертикально. Если наблюдатель неподвиженъ, то дождевая капля, попадающая въ центръ верхняго отверстія дула, достигнетъ центра нижняго конца; если же наблюдатель движется въ направленіи *bd* (Фиг. 1) и ружье перемѣщается вбокъ, то дождевая капля, падающая строго-вертикально, ударится въ стѣнку дула, и для того, чтобы теперь дождевая капля перемѣщалась по оси дула, необходимо ружье наклонить на уголъ *bad*. Ружейное дуло повернуто на уголъ, тангенсъ котораго равенъ отношенію скорости наблюдателя къ скорости паденія дождевой капли.

По теоріи волнообразнаго движенія объясненіе нѣсколько сложнѣе; но легко видѣть, что если разсматриваемая среда непод-

вижна и дуло ружья представляетъ собою телескопъ, волны, высылаемыя звѣздою, будутъ собираться въ точкѣ оси телескопа, если только онъ неподвиженъ. Если же земля, несущая телескопъ, перемѣщается со скоростью около 30 km въ секунду и если мы наблюдаемъ звѣзду въ направленіи перпендикулярномъ къ этому движенію, то свѣтъ звѣзды будетъ собираться не на оси телескопа, а нѣсколько въ сторонѣ, такъ что телескопъ покажется невѣрно направленнымъ. Для приведенія изображенія на ось телескопа, послѣдній надо повернуть на уголъ, тангенсъ котораго равенъ отношенію скорости земли на ея орбитѣ къ скорости свѣта; такъ какъ первая изъ этихъ скоростей равна 30, а вторая 300000 km въ сек., то этотъ тангенсъ $=1/10000$, а уголъ его $=20{\cdot}445''$.

Когда кажущееся смѣщеніе звѣздъ было открыто, то по углу аберраціи и по извѣстной скорости движенія земли по орбитѣ, думали вычислить скорость свѣта. Съ тѣхъ поръ эта скорость точнѣе была опредѣлена иными способами, такъ что теперь, зная скорость свѣта, мы на основаніи аберраціи опредѣляемъ скорость движенія земли и радіусъ ея орбиты.

5. По поводу приведеннаго объясненія было сдѣлано такое замѣчаніе. Если уголъ аберраціи зависитъ отъ скорости, съ которою свѣтъ проходитъ телескопъ, то, уменьшивъ эту скорость, мы заставимъ свѣтъ проходить длину телескопа дольше, и вслѣдствіе этого получимъ большій уголъ аберраціи. Но уменьшить скорость свѣта въ телескопѣ можно, наполняя его водою, въ которой скорость свѣта лишь 3/4 его скорости въ воздухѣ. Такой опытъ и былъ произведенъ: телескопъ наполнялся водою и въ теченіе года имъ наблюдались различныя звѣзды; уголъ аберраціи оказался совершенно такой же, какъ при наблюденіяхъ съ обыкновеннымъ телескопомъ.

Этотъ результатъ представлялъ большое затрудненіе для волнообразной теоріи, пока Френель не нашелъ ему объясненія. Онъ предположилъ, что свѣтоносная среда перемѣщается вмѣстѣ съ водою телескопа по направленію движенія земли около солнца. Впрочемъ, если мы примемъ, что свѣтовая волна перемѣщается со скоростью земли на ея орбитѣ, мы будемъ въ такомъ же, если не въ большемъ затрудненіи, чѣмъ прежде. Поэтому Френель принялъ, что свѣтовыя волны, увлекаемыя средою, движутся медленнѣе, чѣмъ сама среда; отношеніе этихъ

скоростей зависитъ отъ показателя преломленія вещества; въ случаѣ воды это отношеніе = 7/16.

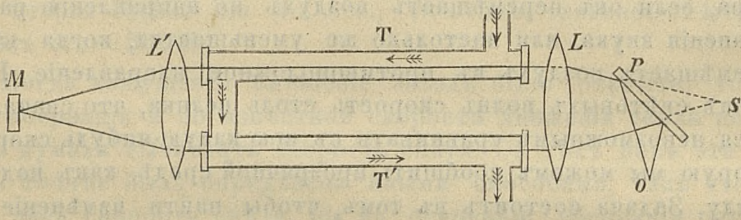
На первый взглядъ такое объясненіе нѣсколько искуственно; оно и было встрѣчено съ недовѣріемъ. Однако Физо сдѣлалъ опытъ для провѣрки этого объясненія—одинъ изъ остроумнѣйшихъ опытовъ, который когда-либо дѣлался въ физикѣ. Задача состояла въ томъ, чтобы найти приращеніе скорости свѣта, обусловливаемое движеніемъ среды. Подобная же задача встрѣчается и въ акустикѣ; но тамъ она гораздо доступнѣе. Извѣстно изъ опытовъ (впрочемъ объ этомъ можно догадаться и безъ опытовъ), что скорость звука увеличивается на скорость вѣтра, если онъ перемѣщаетъ воздухъ по направленію распространенія звука, или настолько же уменьшается, когда вѣтеръ перемѣщаетъ воздухъ въ противоположное направленіе. Но въ случаѣ свѣтовыхъ волнъ скорость столь велика, что сначала кажется невозможнымъ сравнивать съ нею какую-нибудь скорость, которую мы можемъ сообщить прозрачной средѣ, какъ водѣ или стеклу. Задача состоитъ въ томъ, чтобы найти измѣненіе скорости свѣта, вызываемое наибольшею скоростью, которую мы только можемъ сообщить (около 6 m/s) столбу воды, чрезъ который распространяются свѣтовыя волны. Такимъ образомъ намъ предстоитъ замѣтить измѣненіе 300000 km на 6 m, т. е. сравнивать величины, которыя относятся, какъ 1/500000000. Къ тому же мы можемъ пропускать свѣтъ только чрезъ сравнительно короткій столбъ воды.

Дѣло облегчается чрезвычайною малостью свѣтовыхъ волнъ; на двойной длинѣ водяного столба, проходимаго лучомъ взадъ и впередъ (т. е. на пути въ 12 m), укладывается до 14 милліоновъ волнъ. Такъ что скорость воды въ 6 m/s вызываетъ перемѣщеніе интерференціонныхъ полосъ (образуемыхъ двумя пучками лучей, изъ коихъ одинъ проходитъ столбъ воды по направленію ея теченія, а другой—противъ) на полполоски, что соотвѣтствуетъ разности путей въ полволны. Перемѣна направленія водяной струи вызываетъ перемѣщеніе всей системы полосокъ на цѣлую полоску. Но мы легко наблюдаемъ перемѣщеніе въ одну десятую полоски.

Замѣтимъ, что система полосокъ перемѣщалась бы въ нашемъ опытѣ въ томъ лишь случаѣ, если бы средою, передающею свѣтовыя волны, служила вода; но свѣтъ распространяется въ другой средѣ, которая по теоріи Френеля перемѣщается

съ меньшею скоростью, чѣмъ вода; именно въ 16/7 разъ меньшею. Другими словами, при обращеніи тока воды наша система интерференціонныхъ полосокъ перемѣстится лишь на 7/16 полоски. Опытъ былъ сдѣланъ Физо, и оказалось, что полоски перемѣщаются меньше, чѣмъ бы слѣдовало, если бы вода служила средою для распространенія свѣта; отсюда онъ заключилъ, что не вода служитъ тою средою, которая распространяетъ свѣтовыя колебанія.

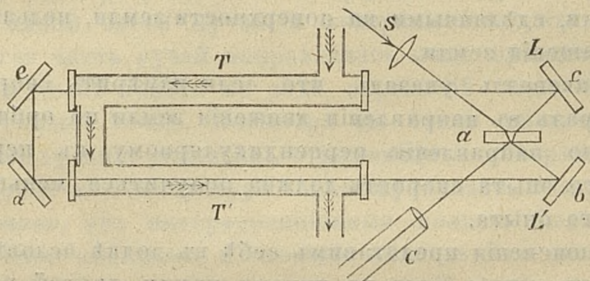
6. Приборъ Физо представленъ на фиг. 2. Лучи выходили изъ узкой щели S, дѣлались параллельными линзою L и двумя



Фиг. 2.

пучками входили въ трубки T и T', по которымъ протекала вода; каждая трубка съ обоихъ концовъ была закрыта плоско-параллельными стеклами. Пройдя трубки, лучи собирались линзою L' въ фокусъ и образовали интерференціонныя полосы. Еще лучше въ фокусъ линзы L' поставить зеркало M такъ, чтобы приходящіе сюда лучи возвращались: лучи, пришедшіе изъ верхней трубы, возвращались въ нижнюю и наоборотъ; такимъ образомъ оба луча проходятъ одинъ и тотъ же путь и сходятся въ точкѣ, изъ которой вышли. При такомъ расположеніи опыта, если интерференціонныя полоски смѣщаются, то это лишь вслѣдствіе обращенія теченія воды; дѣйствительно, одинъ изъ лучей, идущій напр. сперва по верхней трубѣ, а затѣмъ по нижней, всюду распространяется по теченію воды, другой—противъ теченія; при измѣненіи направленія тока воды, условія въ точности обращаются: лучъ, который сперва шелъ по направленію теченія воды, теперь идетъ противъ теченія и наоборотъ, какъ уже было упомянуто. Опытъ показалъ, что интерференціонныя полоски смѣщаются, но меньше, чѣмъ слѣдовало бы ожидать отъ движенія жидкости. Насколько меньше, это не могло быть опредѣлено по несовершенству прибора.

7. Мнѣ казалось необходимымъ повторить этотъ опытъ не только для того, чтобы удостовѣриться въ томъ, что перемѣщеніе интерференціонныхъ полосокъ меньше того, которое должно вызывать движеніе воды, но и съ цѣлью опредѣлить, если возможно, насколько именно меньше. Въ виду этого приборъ былъ нѣсколько измѣненъ и устроенъ такъ, какъ показано на фиг. 3.



фиг. 3.

Надо замѣтить, что принципъ интерферометра былъ примѣненъ для полученія широкихъ полосокъ безъ ослабленія яркости ихъ; въ остальномъ опытъ не отличался существенно отъ опыта Физо. Источникомъ свѣта служила обыкновенная газовая горѣлка. Лучи *s* дѣлались параллельными при помощи линзы *L* и стеклянною пластинкою *a* дѣлились на два пучка (одинъ ею отражался, другой пропускался); одинъ изъ этихъ лучей зеркалами *c*, *e*, *d* и *b* пропускался чрезъ трубки *T* и *T'* по теченію воды и направлялся въ телескопъ *C*, другой тѣми же зеркалами *b*, *d*, *e* и *c* пропускался чрезъ трубки *T'* и *T* противъ теченія воды и затѣмъ тоже направлялся въ телескопъ *C*. Смотря въ послѣдній, наблюдатель видѣлъ интерференціонныя полосы, но болѣе широкія и болѣе рѣзкія, чѣмъ въ приборѣ Физо. Вслѣдствіе этого можно было очень точно измѣрять перемѣщеніе полосокъ. Изъ подобныхъ опытовъ оказалось, что перемѣщеніе полосокъ въ точности = 7/16 того перемѣщенія, которое бы имѣло мѣсто, если бы свѣтоносная среда перемѣщалась со скоростью воды.

8. Одно время предлагали для рѣшенія вопроса воспользоваться движеніемъ земли, такъ какъ эта скорость гораздо больше тѣхъ, которыя мы можемъ производить на поверхности земли. Многіе изъ выдающихся физиковъ предлагали различные

способы. Но оказывается, что для такихъ опытовъ мы не можемъ воспользоваться движеніемъ земли по ея орбитѣ, ибо тогда наши направленія нужно было бы опредѣлять при помощи неземныхъ точекъ, а таковыми могутъ быть однѣ звѣзды; но звѣзда перемѣщается на ту самую величину, которую мы хотимъ измѣрить; такимъ образомъ результатъ опыта былъ бы вполнѣ отрицательный. Лоренцомъ было доказано, что никакими измѣреніями, сдѣланными на поверхности земли, нельзя открыть вліянія вращенія земли.

9. Максвелль указалъ, что если измѣрить скорость свѣта одинъ разъ въ направленіи движенія земли по орбитѣ, а другой разъ по направленію перпендикулярному къ первому, то изъ перваго опыта скорость должна получиться меньшая, чѣмъ изъ второго опыта.

Для поясненія представимъ себѣ въ лодкѣ человѣка, который гребетъ одинъ разъ въ тихомъ пруду, другой разъ на рѣкѣ. Если онъ гребетъ со скоростью 4 km въ часъ и ему надо проѣхать 12 km, то въ пруду со стоячею водою онъ употребитъ 3 часа для ѣзды въ одинъ конецъ и 3 часа на обратный путь; всего 6 часовъ. Если же вода течетъ, напр. со скоростью 1 km въ часъ, то продолжительность переѣзда не будетъ равняться 12, раздѣленному на 4, а 12, раздѣленному на 4 + 1, т. е. 2·4 часамъ; на обратномъ пути продолжительность переѣзда будетъ равна 12, раздѣленному на 4—1, т. е. 4; такимъ образомъ продолжительность ѣзды взадъ и впередъ будетъ 6·4 вмѣсто 6 часовъ. Итакъ на прохожденіе даннаго разстоянія взадъ и впередъ тратится больше времени, когда среда въ движеніи, чѣмъ когда она неподвижна. Послѣ этого понятно, что для прохожденія даннаго разстоянія взадъ и впередъ по направленію движенія земли свѣтъ употребляетъ больше времени, чѣмъ для прохожденія такого же разстоянія по направленію перпендикулярному къ движенію земли. Впрочемъ разница во времени чрезвычайна мала, порядка 1 на 100000000, такъ что Максвелль считалъ безнадежною всякую попытку открыть эту разницу на опытѣ.

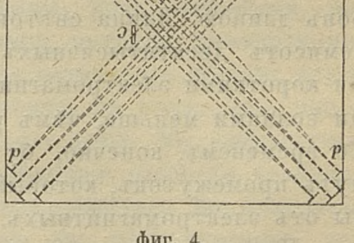
Несмотря на всю ничтожность величины, подлежащей наблюденію, можно было думать, что малость свѣтовыхъ волнъ опять выручитъ. И дѣйствительно былъ сдѣланъ опытъ, который позволялъ опредѣлить эту малую величину. Условія, которымъ долженствовалъ удовлетворять приборъ, были доволь-

ны сложны. Разстояніе, проходимое лучомъ, должно быть по возможности велико, въ сотни милліоновъ волнъ; съ другой стороны требовалось имѣть возможность измѣнять направленіе прибора безъ измѣненія установки даже на одну стомилліонную долю разстоянія; далѣе приборъ долженъ быть абсолютно предохраненъ отъ всякихъ сотрясеній.

Задача была разрѣшена многократнымъ отраженіемъ взадъ и впередъ одной части лучей и возвращеніемъ къ свѣтящей точкѣ; другая часть лучей направлялась подъ прямымъ угломъ къ первой и послѣ такого же ряда отраженій тоже возвращалась къ свѣтящей точкѣ. Несмотря на такое различіе путей, проходимыхъ лучами, установка отражающихъ поверхностей была столь точна и температура промежуточнаго воздуха была такъ постоянна, что интерференціонныя полосы были видны и сохраняли свои положенія въ теченіе нѣсколькихъ часовъ.

Для осуществленія указанныхъ условій приборъ помѣщался на каменную подставку (4 □ фута площади, 1 футъ толщины); этотъ камень былъ положенъ на деревянную доску, которая плавала въ резервуарѣ со ртутью. Сопротивленіе движенію было столь мало, что малѣйшимъ давленіемъ на окружность поплавка все приводилось въ медленное и непрерывное вращеніе, при чемъ полный оборотъ совершался въ пять минутъ; при такомъ медленномъ движеніи никакихъ колебаній не было; наблюдателю оставалось лишь слѣдовать за вращающимся приборомъ и наблюдать не перемѣстились-ли полоски.

Было найдено, что интерференціонныя полоски не перемѣщаются; такимъ образомъ результатъ опыта былъ отрицательный, что указываетъ на неудовлетворительность самой теоріи, которая до сихъ поръ еще не устранена. Несмотря на отрицательный результатъ опыта, я его привожу здѣсь, какъ примѣръ примѣненія свѣтовыхъ волнъ къ новымъ задачамъ.



фиг. 4.

Схема прибора представлена на фиг. 4. Линза L дѣлаетъ лучи почти параллельными; пластинка b раздѣляетъ лучи на двѣ взаимно перпендикулярныя части.

Телескопъ f снабженъ микрометреннымъ винтомъ для измѣренія перемѣщенія полосокъ, если бы таковое оказалось. Въ углахъ подставки находятся зеркала d; послѣднее зеркало e помѣщено на салазки, такъ что оба пути лучей можно подравнивать до одной двухтысячной миллиметра.

Если бы опытъ далъ положительный результатъ, то можно было бы опредѣлить скорость движенія земли въ эѳирѣ (а не скорость ея движенія по орбитѣ). Существуютъ основанія предполагать, что солнце вмѣстѣ со всѣми планетами, перемѣщается въ опредѣленномъ направленіи со скоростью около 32 km въ секунду. Эта скорость еще не опредѣлена въ точности; была надежда описаннымъ опытомъ опредѣлить скорость перемѣщенія солнечной системы въ пространствѣ. Но опытъ далъ отрицательный результатъ, и потому задача осталась неразрѣшенною.

10. Изъ всего предыдущаго несомнѣнно слѣдуетъ, что должна существовать среда, назначеніе которой состоитъ въ распространеніи свѣтовыхъ волнъ. Подобная же среда необходима также и для распространенія электрическихъ и магнитныхъ дѣйствій. Въ самомъ дѣлѣ, вполнѣ установлено, что свѣтъ есть электромагнитное возмущеніе, подобное тому, какое вызывается разрядомъ индуктора или лейденской банки. Подобныя электрическія волны могутъ отражаться, преломляться и поляризоваться; онѣ могутъ вызывать колебанія или другія дѣйствія подобно тому, какъ это дѣлаютъ свѣтовыя волны. Разница между тѣми и другими только въ длинѣ волны.

Эта разница иногда громадна, иногда же очень умѣренна. Напр. телеграфная волна, которая въ сущности есть не что иное, какъ электромагнитное возмущеніе, можетъ имѣть длину въ тысячи километровъ; волна, вызываемая колебаніями лейденской банки, бываетъ длиною въ нѣсколько метровъ; наконецъ вибраторъ Герца даетъ волны въ нѣсколько миллиметровъ длиною. Длина свѣтовыхъ волнъ колеблется отъ одной до семисотъ десятитысячныхъ миллиметра. Разница между самыми короткими электромагнитными и самыми длинными свѣтовыми волнами меньше, чѣмъ разница между крайними свѣтовыми. Со временемъ, конечно, будутъ найдены волны, которыя займутъ промежутокъ, который теперь раздѣляетъ свѣтовыя волны отъ электромагнитныхъ.

Установленіе факта, что свѣтъ есть электромагнитное колебаніе, ни въ какомъ случаѣ не подвигаетъ впередъ объясне-

ніе сущности свѣта; это только перемѣщеніе задачи, ибо теперь возникаетъ вопросъ о природѣ среды и о тѣхъ механическихъ дѣйствіяхъ, совершающихся въ такой средѣ для поддержанія и распространенія этихъ электромагнитныхъ возмущеній.

Было высказано очень соблазнительное по своей простотѣ предположеніе, что эөиръ и есть само электричество. Однако болѣе правдоподобна гипотеза, что электричество есть напряженіе эөира, а перемѣщеніе эөира эквивалентно электрическому току. Правда, это есть возвращеніе къ упруго-твердой теоріи. Я приведу слова, сказанныя лордомъ Кельвиномъ на вопросъ, существуетъ-ли среда, о которой мы такъ мало знаемъ: „Конечно! Эөиръ есть единственная форма матеріи, о которой мы что-нибудь знаемъ". Дѣйствительно, какъ только мы начинаемъ спрашивать себя о природѣ крайнихъ частицъ обыкновенной матеріи, такъ погружаемся въ безпредѣльное море предположеній и гипотезъ, самыхъ сложныхъ и трудныхъ. Болѣе другихъ обѣщаетъ „вихревая теорія эөира", которая имѣетъ то достоинство, что ничего новаго не вводитъ въ прежде созданную гипотезу, а лишь опредѣляетъ нужную форму движенія. Такое вихревое движеніе иллюстрируется обыкновенными кольцами дыма, выпускаемыми курильщиками или выбрасываемыми изъ трубы локомотива. Такія вихревыя кольца можно легко получать изъ ящика, наполненнаго дымомъ, одна стѣнка котораго снабжена круглымъ отверстіемъ и противоположная стѣнка сдѣлана изъ кожи, въ которую ударяютъ кулакомъ: дымъ, выталкиваемый изъ ящика, испытываетъ треніе о края отверстія и приходитъ въ вращательное движеніе; въ результатѣ получается кольцо изъ дыма.

Не смотря на то, что эти дымныя кольца получаются въ средѣ далеко отъ идеальной, они обладаютъ свойствами, которыя мы привыкли приписывать атомамъ. Если бы среда была идеальная и лишена тренія, то движеніе, разъ вызванное, продолжалось бы всегда, и та часть эөира, которая дифференцировалась такимъ движеніемъ, всегда бы оставалась такою; другая особенность вихревого кольца состоитъ въ томъ, что оно не разрѣзомо; оно только изгибается около ножа. Въ дѣйствительности движеніе дымнаго кольца—вслѣдствіе вязкости воздуха—очень скоро прекращается; но оно продолжалось бы безконечно въ такой средѣ безъ тренія, какою мы представляемъ себѣ эөиръ.

Я не имѣю времени говорить о многихъ другихъ аналогіяхъ, сближающихъ атомы и вихревыя кольца; онѣ наводятъ на мысль, что вихревое кольцо есть увеличенная модель атома. Къ сожалѣнію математическая обработка вопроса очень трудна, и въ этомъ, повидимому, главная причина медленнаго развитія теоріи.

Если предположить, что натяженіе эѳира соотвѣтствуетъ электрическому заряду, перемѣщеніе эѳира—электрическому току и вихри эѳира—атомамъ, то приходимъ къ одному изъ самыхъ грандіозныхъ обобщеній современной науки, а именно, что всѣ явленія физическаго міра суть только различныя проявленія разныхъ движеній всюду распространеннаго вещества—эѳира.

Всѣ новѣйшія изслѣдованія клонятся къ выясненію этой задачи и недалекъ тотъ день, когда пути, ведущіе изъ самыхъ различныхъ и отдаленныхъ областей мысли, сойдутся на этой почвѣ. Тогда природа атомовъ и силъ, обусловливающихъ ихъ химическія соединенія, взаимодѣйствія между атомами и недифференцированнымъ эѳиромъ, которыя проявляются въ явленіяхъ свѣта и электричества, строеніе молекулъ, сущность сцѣпленія, упругости и тяготѣнія—все это составитъ одно цѣлое научнаго знанія.

11. Подводя итоги всему сказанному, приходимъ къ такимъ заключеніямъ:

1. Различными путями приходимъ къ убѣжденію, что среда, распространяющая свѣтовыя волны, не принадлежитъ къ числу формъ обыкновенной матеріи. Какъ бы мало мы ни знали эту среду, наше невѣжество относительно обыкновенной матеріи еще больше.

2. По всей вѣроятности эта среда не только существуетъ тамъ, гдѣ обыкновенной матеріи нѣтъ, но она проникаетъ всѣ формы матеріи. Движущееся тѣло, какъ напр. вода, не сообщаетъ всей своей скорости распространяющемуся чрезъ него свѣту, но лишь нѣкоторую часть ея; отсюда—по одной изъ гипотезъ—слѣдуетъ, что самъ эѳиръ не принимаетъ участія въ такомъ движеніи.

3. Явленіе аберраціи неподвижныхъ звѣздъ можетъ быть объяснено гипотезою, что эѳиръ не участвуетъ въ движеніи земли около солнца. Впрочемъ попытки, предпринятыя съ цѣлью провѣрить опытомъ это предположеніе, не привели ни къ

какимъ результатамъ; слѣдовательно теорія находится еще въ неудовлетворительномъ состояніи.

Физическій классъ

1) *Развѣтвленіе токовъ*

П. А. Зилова

1. Если проволока имѣетъ длину l и площадь поперечнаго сѣченія s, то ея проводимость

$$L = a\frac{s}{l},$$

гдѣ a множитель, зависящій отъ матеріала проволоки и независящій отъ ея размѣровъ.

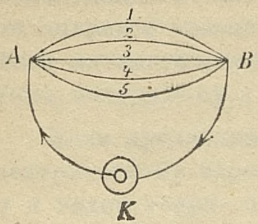
Если k одинакихъ проволокъ, изъ коихъ каждая имѣетъ проводимость L, соединены параллельно, т. е. расположены рядомъ одна съ другою и одни ихъ концы сходятся въ одной точкѣ A, а другіе концы сходятся тоже въ одной точкѣ B, то получается проводникъ съ площадью поперечнаго сѣченія въ k разъ большею прежняго; проводимость такого проводника будетъ въ k разъ больше проводимости каждой отдѣльной проволоки:

$$L' = a\frac{ks}{l} = kL$$

Представимъ себѣ, что между точками A и B (фиг. 1) цѣпь развѣтвляется, т. е. что между ними помѣщены „параллельные" проволоки 1, 2, 3, ... Эти точки A и B называются *точками развѣтвленія* цѣпи, а проволоки 1, 2, 3, ... — ея *вѣтвями.*

Въ точкѣ A токъ *развѣтвляется*: электричество, доставляе-

мое сюда по одному проводнику KA изъ элемента K, раздѣляется здѣсь и дальше течетъ по отдѣльнымъ вѣтвямъ 1, 2, 3, . . .


фиг. 1.

2. Найдемъ законъ развѣтвленія тока. Представимъ себѣ, что всѣ наши вѣтви, число коихъ назовемъ m, одинаковы; понятно, что притекающее къ точкѣ A электричество будетъ здѣсь раздѣляться на m равныхъ частей и каждая изъ нихъ потечетъ по отдѣльной вѣтви, ибо нѣтъ причинъ, по чему бы въ одну вѣтвь отдѣлилась бо́льшая часть электричества, чѣмъ въ другую, ничѣмъ отъ первой не отличающуюся. Такимъ образомъ во всѣхъ параллельныхъ вѣтвяхъ равной проводимости идутъ одинакіе токи. Въ точкѣ B всѣ эти токи соединяются и затѣмъ идутъ вмѣстѣ по проволокѣ BK. Слѣдовательно, если чрезъ i назовемъ токъ въ неразвѣтвленной части KA цѣпи, то въ каждой вѣтви будетъ итти токъ i/m. Понятно, что въ двухъ нашихъ вѣтвяхъ, вмѣстѣ взятыхъ, идутъ двѣ такихъ части тока, $2i/m$, въ трехъ вѣтвяхъ — три части, $3i/m$, наконецъ въ k вѣтвяхъ—идутъ k частей тока, ki/m.

Всѣ наши m проволокъ соединимъ въ двѣ вѣтви: одну вѣтвь образуемъ изъ k проволокъ, а другую изъ остальныхъ $m-k$ проволокъ; проводимости этихъ вѣтвей (§ 1) будутъ

$$(1) \qquad L_1 = kL\,,\; L_2 = (m-k)\,L\,,$$

гдѣ L—проводимость каждой отдѣльной проволоки; а токи въ этихъ вѣтвяхъ будутъ

$$(2) \qquad i_1 = k\frac{i}{m}\,,\; i_2 = (m-k)\frac{i}{m}$$

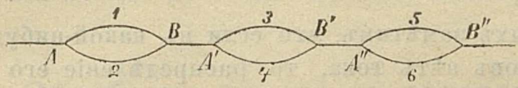
Сравнивая (1) со (2), находимъ

$$(3) \qquad i_1 : i_2 = L_1 : L_2$$

Эта формула и выражаетъ законъ развѣтвленія токовъ: *токи въ двухъ параллельныхъ вѣтвяхъ пропорціональны ихъ проводимостямъ.* Этотъ законъ обобщается на какое-угодно число параллельныхъ вѣтвей.

3. Если цѣпь послѣдовательно развѣтвляется въ точкахъ A, A' A'', . . . (фиг. 2), то къ каждому развѣтвленію примѣняется

предыдущій законъ, и отношеніе токовъ въ вѣтвяхъ легко опредѣляется, если извѣстны проводимости послѣднихъ. Отмѣтимъ одинъ частный случай, когда въ A, A' A'', ... токъ (одной величины) развѣтвляется одинаково, т. е. такъ, что во всѣхъ верх-

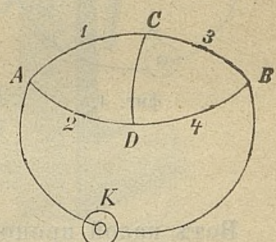


фиг. 2.

нихъ вѣтвяхъ токи одинаковы между собою, въ нижнихъ вѣтвяхъ токи тоже одинаковы между собою. Изъ предыдущаго ясно, что это можетъ быть лишь въ томъ случаѣ, если отношеніе проводимостей верхней и нижней вѣтви всюду одинаково:

$$L_1 : L_2 = L_3 : L_4 = L_5 : L_6 = \ldots \quad (4)$$

4. Разсмотримъ еще *мостикъ Уитстона*. Между двумя точками A и B (фиг. 3) цѣпи помѣщаются двѣ параллельныхъ вѣтви ACB и ADB, соединенныхъ поперечною проволокою CD. Такая комбинація проволокъ и составляетъ „мостикъ Уитстона“: проволоки AC, AD, CB и DB называются *сторонами* мостика, проволоки AKB и CD—*діагоналями* его; въ первую изъ этихъ діагоналей вставляютъ гальваническій элементъ K, въ вторую включаютъ гальванометръ.



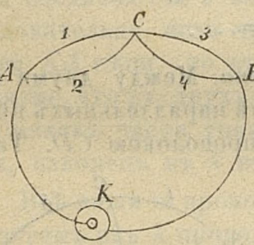
фиг. 3.

Токи, приходящіе изъ A къ C и D, здѣсь развѣтвляются, вслѣдствіе чего въ діагонали CD идутъ два тока—одинъ сверху внизъ, другой снизу вверхъ; въ результатѣ получается одинъ токъ равный ихъ разности и направленіе котораго зависитъ оттого, который изъ складываемыхъ токовъ сильнѣе. Приближая точку C къ A, мы усилимъ токъ діагонали, идущій сверху внизъ, и оба тока въ ней складываются въ одинъ, идущій сверху внизъ; а приближая точку C къ B, мы усилимъ токъ, идущій снизу вверхъ, и оба тока даютъ одинъ, идущій снизу вверхъ; наконецъ, если эти оба тока діагонали одинаковой величины, то они взаимно уничтожаются и въ діагонали вовсе нѣтъ тока. Этотъ частный случай, когда въ діагонали CD нѣтъ тока, мы и разсмотримъ.

Во-первыхъ замѣтимъ, что если въ діагонали CD нѣтъ тока, то мы можемъ принять, что весь токъ, приходящій къ C по первой проволокѣ, не заходя въ діагональ, цѣликомъ переходитъ во вторую проволоку, такъ что токи въ 1-й и 2-й сторонахъ мостика одинаковы; точно также можно доказать, что въ 3-й и 4-й сторонахъ мостика токи тоже одинаковы.

Во-вторыхъ замѣтимъ, что если въ какой-нибудь части сѣти проводниковъ нѣтъ тока, то распредѣленіе его въ остальныхъ частяхъ совершенно не зависитъ отъ проводимости первой; мы можемъ сдѣлать эту проводимость безконечно-большою (сближая концы проволоки до совпаденія) или же равною нулю (прерывая здѣсь проволоку), и распредѣленіе тока въ остальныхъ частяхъ отъ этого ни въ чемъ не измѣнится.

Возвращаясь къ мостику Уютстона, найдемъ въ какомъ отношеніи тогда находятся проводимости сторонъ его, когда въ діагонали его нѣтъ тока. Пользуясь послѣднимъ замѣчаніемъ, точки C и D діагонали сблизимъ до совпаденія и положимъ, что въ 1-й и 3-й сторонахъ токи равны между собою, во 2-й и 4-й тоже равны между собою; тогда по § 3 (форм. 4) можемъ написать:



фиг. 4.

$$L_1 : L_3 = L_2 : L_4 \qquad (5)$$

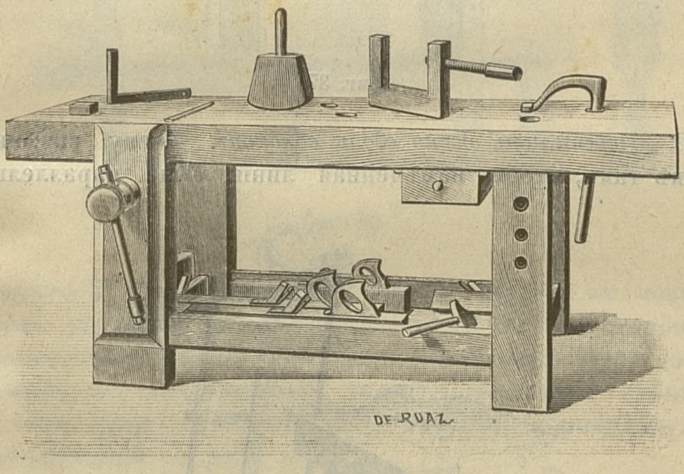
Вотъ какой пропорціей удовлетворяютъ проводимости сторонъ мостика Уитстона, когда въ его діагонали токъ исчезаетъ.

Механическая мастерская при физическомъ кабинетѣ

Ж. Лемуана[1])

III. Обработка дерева на верстакѣ.

20. *Верстакъ* дѣлается изъ дубоваго или буковаго дерева; всего удобнѣе дать ему слѣдующіе размѣры: 2 m. длины, 50 cm. ширины и 80 cm. высоты (фиг. 36).

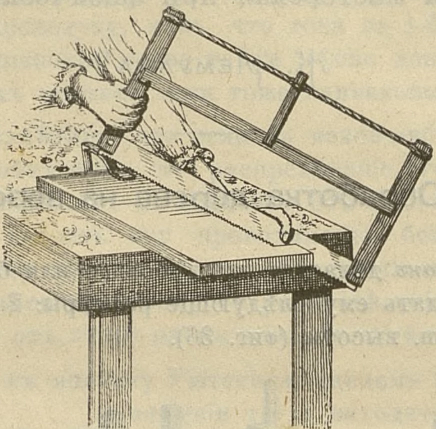


фиг. 36

21. *Перепилить доску поперекъ волоконъ.* Плотничьимъ карандашомъ провести линію, по которой должна слѣдовать пила; положить доску на верстакъ и прижать ее концомъ закривленной пластинки, которую забиваютъ ударомъ деревяннаго молотка; взять пилу (*лучковую пилу*) въ правую руку, а лѣвою рукою направлять пилу по чертѣ. Толкая пилу впередъ, дальнимъ концомъ пилы надрѣзываютъ доску по намѣченной чертѣ; продол-

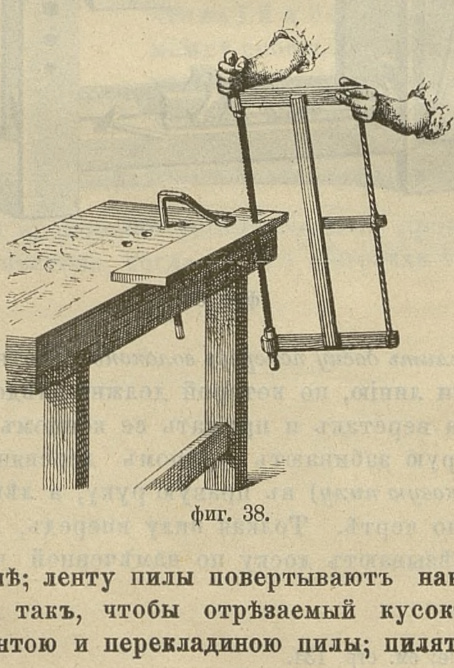
[1]) Продолженіе; см. стр. 134.

жать пиленіе, двигая руку съ размахомъ почти равнымъ длинѣ ленты. Пилу слѣдуетъ держать такъ, чтобы зубцы рѣзали только при движеніи впередъ (фиг. 37).



фиг. 37.

22. *Перепилить доску вдоль волоконъ.* Доску укрѣпить на верстакѣ такъ, чтобы намѣченная линія была параллельна его



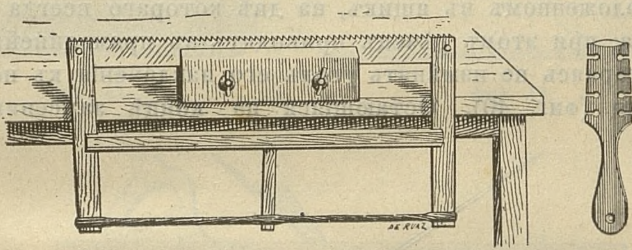
фиг. 38.

длинной сторонѣ; ленту пилы повертываютъ наклонно къ плоскости ея рамы такъ, чтобы отрѣзаемый кусокъ могъ проходить между лентою и перекладиною пилы; пилятъ при опуска-

ніи пилы (плоскость ленты вертикальна), наклоняя впередъ верхній конецъ пилы (фиг. 38). Движеніе производится правою рукою; лѣвая рука только поддерживаетъ и направляетъ пилу; такимъ образомъ можно слѣдовать за чертою; въ началѣ это дается нелегко.

Такимъ же образомъ разрѣзаютъ доску по кривой линіи, только надо брать пилу съ узкою лентою (въ 1 или 2 cm.).

23. *Заострить пилу.* Лента пилы укрѣпляется вертикально въ деревянныхъ тискахъ (фиг. 39). Трехграннымъ подпилкомъ освѣжаютъ каждое углубленіе ленты такъ, чтобы зубцы



фиг. 39.

заострились. Эти зубцы имѣютъ разныя формы: на концѣ, отдаленномъ отъ руки, на протяженіи около 20 cm., стороны зубцовъ равно наклонены къ незазубренной сторонѣ ленты (эти зубцы служатъ для надрѣзыванія досокъ); остальные зубцы-дальнѣйшіе отъ руки — имѣютъ одну сторону перпендикулярную къ незазубренной сторонѣ ленты.

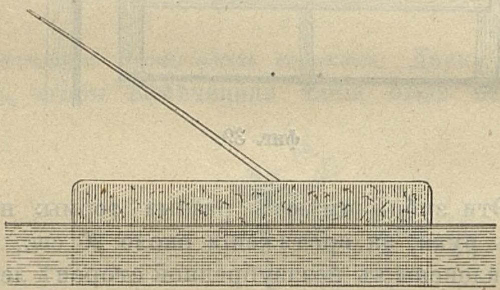
Затѣмъ зубья пилы отгибаютъ при помощи разводки (см. рис. справа). Для этого зубецъ ленты вкладываютъ въ одну изъ щелей разводки, которую нагибаютъ такъ, чтобы отклонить зубецъ изъ плоскости ленты; слѣдующій зубецъ отгибаютъ въ противоположную сторону и т. д. Зубья не слѣдуетъ отклонять больше, какъ на толщину ленты.

24. *Обстрогать доску.* Если надо обстрогать широкую сторону доски, ее кладутъ плашмя на верстакъ и упираютъ однимъ концомъ въ колышекъ (гребенку), который вставленъ въ одно изъ отверстій, находящихся на краю верстачной доски. Если же хотятъ обстрогать узкую сторону доски, то ее зажимаютъ въ верстачные тиски.

Грязную доску чистятъ шерпебелемъ (рубанокъ съ полукруглымъ концомъ ножа), проводя его по направленію волоконъ, выступающихъ на поверхность доски; такимъ образомъ послѣднюю дѣлаютъ почти плоскою. Оканчиваютъ работу рубанкомъ, который снимаетъ менѣе толстый слой дерева по большей поверхности.

Затѣмъ съ помощью тѣхъ же инструментовъ обстругиваютъ стороны доски, зажавъ ее въ тиски. При помощи наугольника провѣряютъ перпендикулярны-ли боковыя стороны доски къ передней и задней.

25. *Установка рубанка.* Рѣзецъ затачивается на песчаномъ камнѣ, положенномъ въ ящикъ, на днѣ котораго всегда должна быть вода; при этомъ рѣзецъ приводятъ въ прямолинейное движеніе, стараясь не измѣнять уголъ его наклоненія къ поверхности камня (фиг. 40). Остающіяся на концѣ заусеницы сни-

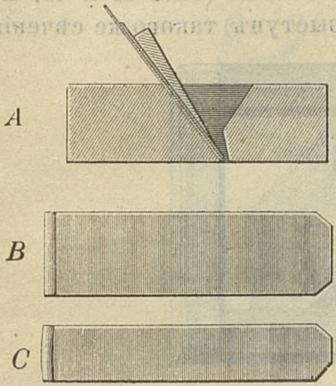


Фиг. 40.

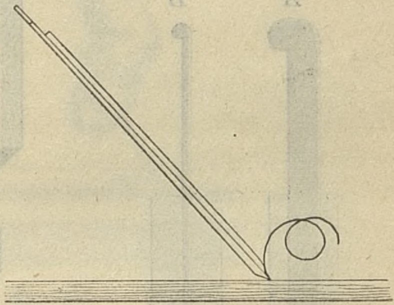
маютъ оселкомъ, покрытымъ масломъ, по которому трутъ рѣзецъ, сообщая ему круговыя движенія. Сначала рѣзецъ держатъ въ прежнемъ направленіи къ поверхности оселка, затѣмъ кладутъ плашмя другою стороною.

При закрѣпленіи рѣзца въ рубанкѣ, къ нему прикладывается желѣзная пластинка; чѣмъ меньше разстояніе между нижними концами этой пластинки и рѣзца (1—3 mm.), тѣмъ короче будутъ стружки. Рѣзецъ и пластинка вмѣстѣ опускаются въ отверстіе рубанка и закрѣпляются тамъ деревяннымъ клиномъ. Стружки получаются тѣмъ тоньше, чѣмъ рѣзецъ меньше выступаетъ за нижнюю плоскость рубанка (больше 1 mm. для шерпебеля и меньше 1 mm. для рубанка). Опускаютъ ножъ, постуки-

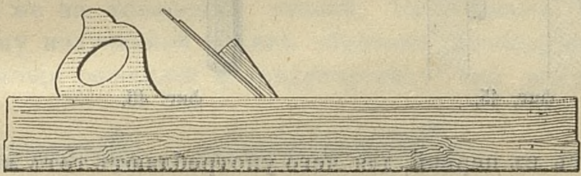
вая молоткомъ по его верхнему концу, а поднимаютъ, ударомъ молотка по заднему концу рубанка.



фиг. 41.



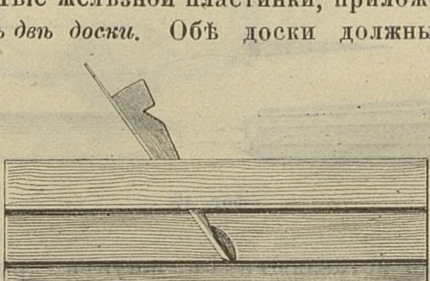
фиг. 42.



фиг. 43.

На фиг. 41, *A* представленъ рубанокъ въ разрѣзѣ, *B*—рѣзецъ рубанка, *C*—рѣзецъ шершебеля, на фиг. 43—шершебель, на фиг. 42—дѣйствіе желѣзной пластинки, приложенной къ рѣзцу.

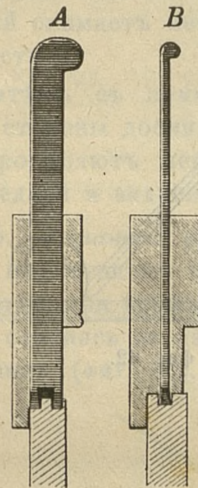
26. *Склеить двѣ доски.* Обѣ доски должны быть равной



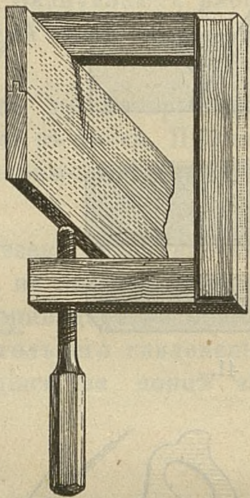
фиг. 44.

толщины и тщательно выстроганы; одну доску зажимаютъ въ тиски обрабатываемою стороною вверхъ и горизонтально; въ

ней выстругиваютъ шпунтъ, т. е. желобокъ со прямоугольнымъ сѣченіемъ, для чего употребляютъ *шпунтгобель* (фиг. 44 и 45, *B*); въ другой доскѣ выстругиваютъ *перо* (выступъ) такого же сѣченія,



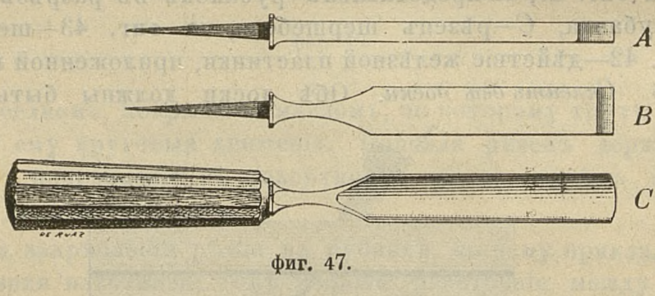
фиг. 45.



фиг. 46.

какъ шпунтъ въ первой, для чего употребляютъ тотъ же шпунтгобель, въ который вставляютъ рѣзецъ съ вырѣзкою (44 и 45, *A*).

Разогрѣть крѣпкій клей; соединяемыя поверхности сначала нагрѣваютъ (если можно), быстро смазываютъ клеемъ, затѣмъ

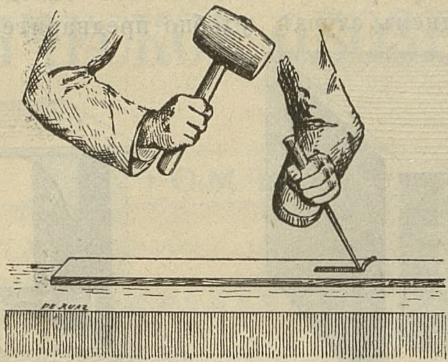


фиг. 47.

перо одной доски вставляютъ въ шпунтъ другой и скалачиваютъ ихъ легкими ударами деревяннаго молотка, наконецъ сжимаютъ въ струбцинкахъ (фиг. 46), гдѣ и оставляютъ, пока не засохнетъ клей.

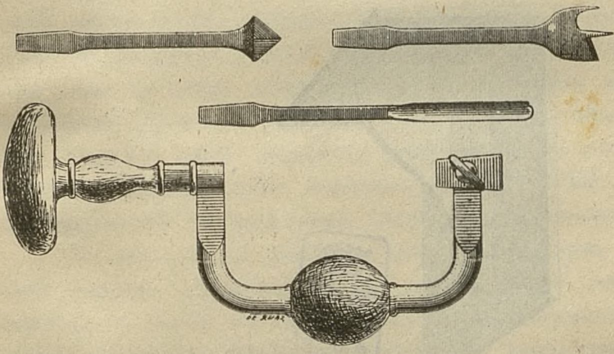
27. *Выдолбить дерево.* Для этого употребляютъ стамески — узкую (фиг. 47, *A*), широкую (*B*) или полукруглую (*C*); выдал-

бливаютъ или просто рукою или же помогая себѣ деревяннымъ молоткомъ (фиг. 48).

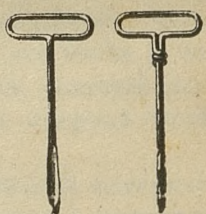


фиг. 48.

28. *Просверлить дерево* можно при помощи *бурава* и *коловорота* или же на токарномъ станкѣ. Расширяютъ или измѣняютъ форму полученной такимъ образомъ цилиндрической дыры при помощи *рашпилей* цилиндрическихъ или полукруглыхъ.



фиг. 49.

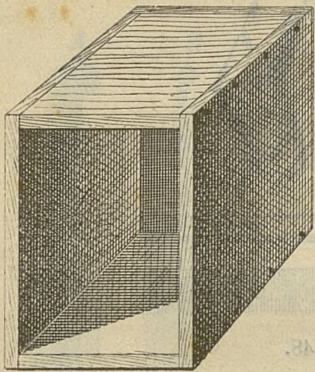


фиг. 50.

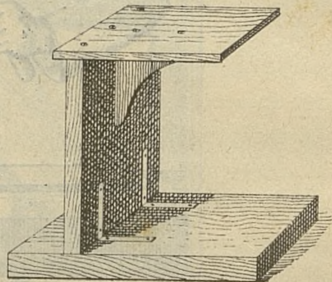
Начало дыры иногда надо расширить въ конусъ; это достигается коническимъ фрезеромъ, который вставляютъ въ коловоротъ и вертятъ; въ такое коническое углубленіе опускаютъ головку винта, которая не должна выступать надъ поверхностью дерева.

На фиг. 49 представленъ коловоротъ, надъ нимъ ложечное сверло, направо центровое сверло и слѣва коническій фрезеръ; на фиг. 50—буравчики.

29. *Устроить подставку, консоль и т. п..* Приготовить доски—обстрогать, разрѣзать—и сколотить гвоздями или свинтить. Въ послѣднемъ случаѣ удобно предварительно сколотить



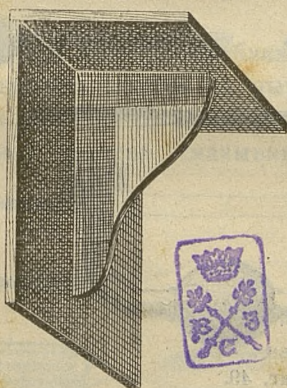
фиг. 51.



фиг. 52.

гвоздями, затѣмъ буравчикомъ просверлить дырки сразу въ обѣихъ доскахъ, которыя хотятъ свинтить.

Кромѣ ряда подставокъ—ящиковъ (фиг. 51), полезно имѣть небольшія скамеечки и доски различной толщины; сочетаніемъ



фиг. 53.

тѣхъ и другихъ можно осуществить подставку любой высоты.

Легко устроить скамеечку (фиг. 52) изъ трехъ досокъ, которыя укрѣпляютъ желѣзными или деревянными угольниками.

Также нетрудно сдѣлать консоль (фиг. 53) для гальванометра и т. п.